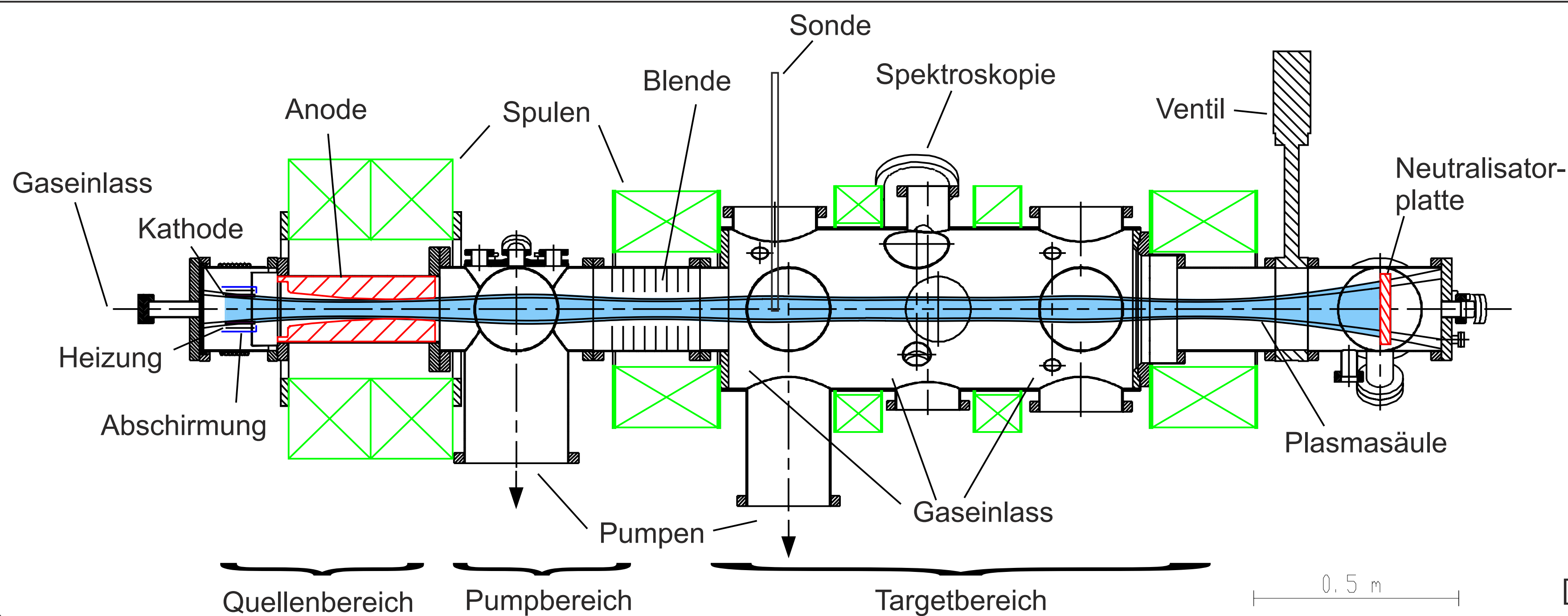


Spektroskopische Charakterisierung des PSI-2 Plasmas im ionisierenden und rekombinierenden Zustand

M. Reinhart*, A. Pospieszczyk, B. Unterberg, A. Kreter, G. Sergienko, B. Schweer, PSI-2 Team
Institute of Energy and Climate Research - Plasma Physics, Forschungszentrum Jülich GmbH

* m.reinhart@fz-juelich.de

PSI-2 Experiment: Schematische Darstellung



Motivation

Anwendbarkeit verschiedener spektroskopischer Methoden zur Plasmadiagnose in linearen Plasmageneratoren (im Vergleich zu Langmuirsondenmessungen)

Messungen am Beispiel eines rekombinierenden Deuterium-Plasmas unter Variation des Neutralgasdrucks (Fortsetzung früherer Arbeiten [1])

Messaufbau

Technische Daten PSI-2:

Plasmaquelle: DC-Entladung zwischen Zylinderkathode und Anode

Plasma im Targetbereich: 6 cm Durchmesser,

Elektronendichte bis zu 10^{20} m^{-3} ,

Elektronentemperatur bis zu 20 eV

Magnetfeldstärke: 100 mT auf der Achse im Targetbereich

Diagnostiken: Langmuirsonde und 2D-Spektrometer

Rekombinierendes Plasma in PSI-2

- Entladungstrom 50 A, Gas-einlass im Targetbereich
→ rekombinierendes Plasma

- Hohlprofil des Plasmas ist auch im Foto zu erkennen

- Rekombinierender Bereich (blaues Leuchten) liegt nicht genau im Zentrum, sondern ist nach oben verschoben.

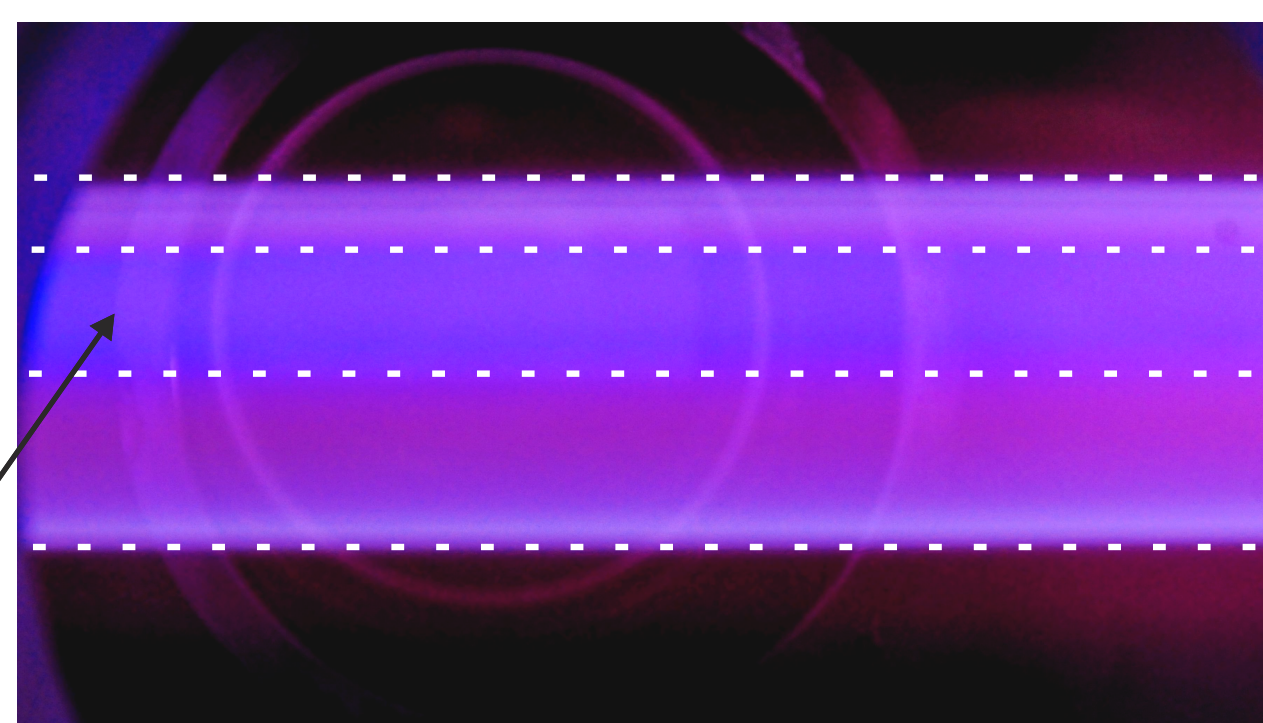
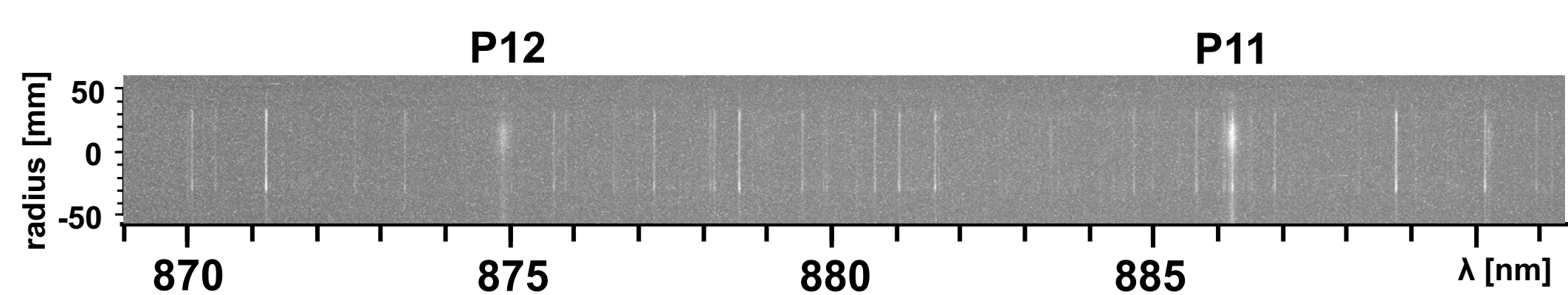


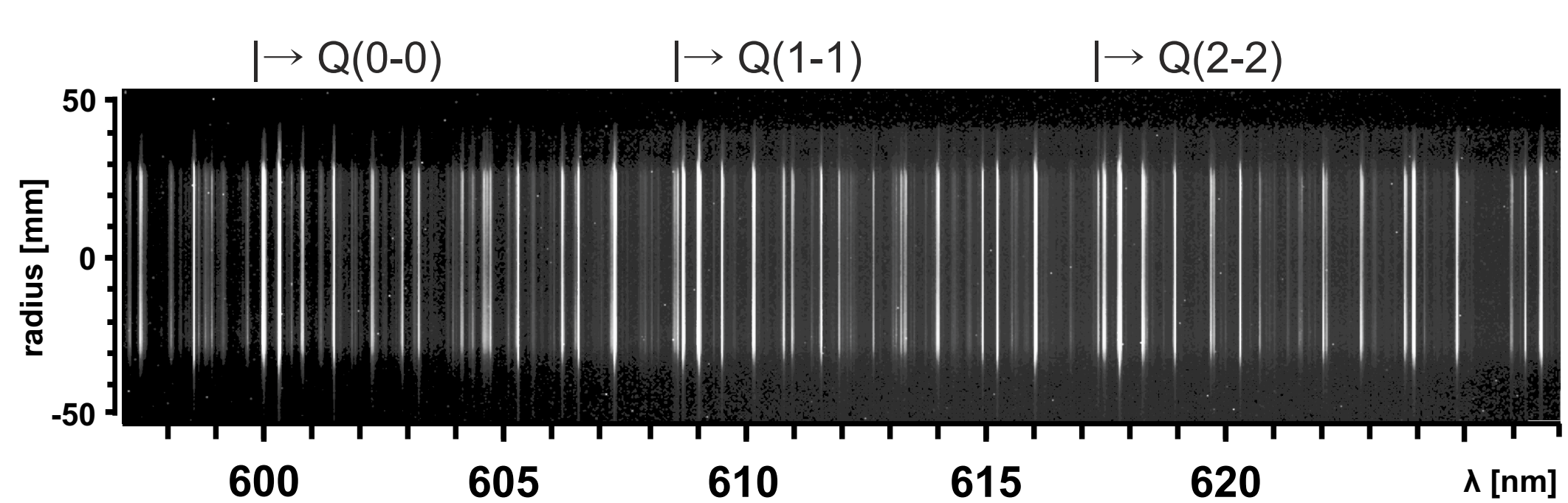
Foto des Plasmas im Targetbereich



Beispielmessungen des radial auflösenden Spektrometers

- Aufnahme der Paschen-Serie ($n=11 \rightarrow 3$ und $12 \rightarrow 3$; oben) und der Balmer-Serie (ab $n=8 \rightarrow 2$; unten)

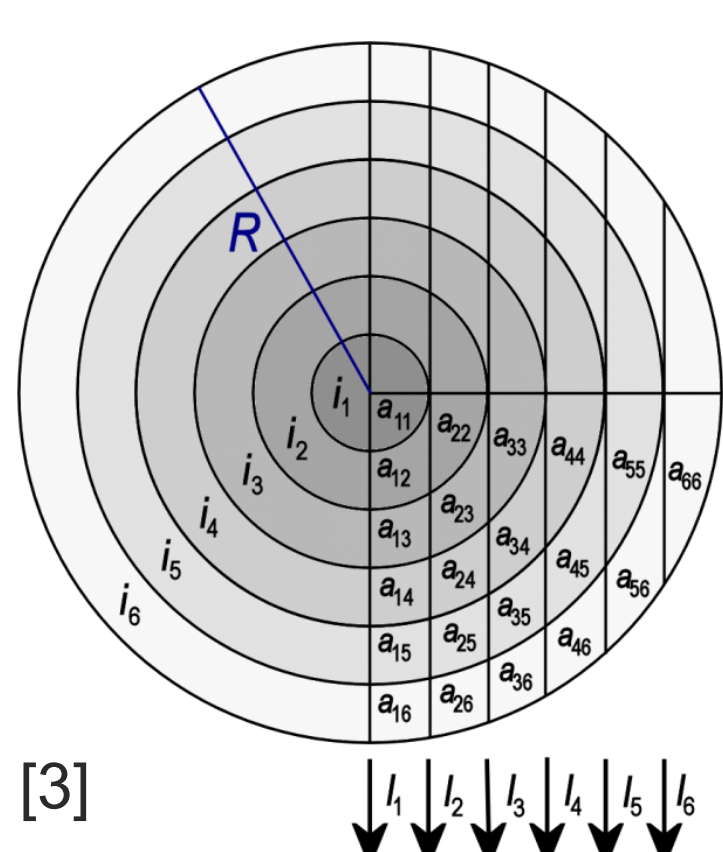
- Anhand der Intensität der Linien kann der Ort des rekombinierenden Bereichs, und aus der Starkverbreiterung (Paschen-Serie) die Elektronendichte im rekombinierenden Bereich bestimmt werden



Beispielmessung des radial auflösenden Spektrometers

- Aufnahme des Q-Zweigs der Fulcherbande zur Bestimmung der Rotationstemperatur der D2-Moleküle

Inverse Abel-Transformation



- Mit dem Spektrometer gemessene Intensitäten sind linienintegriert

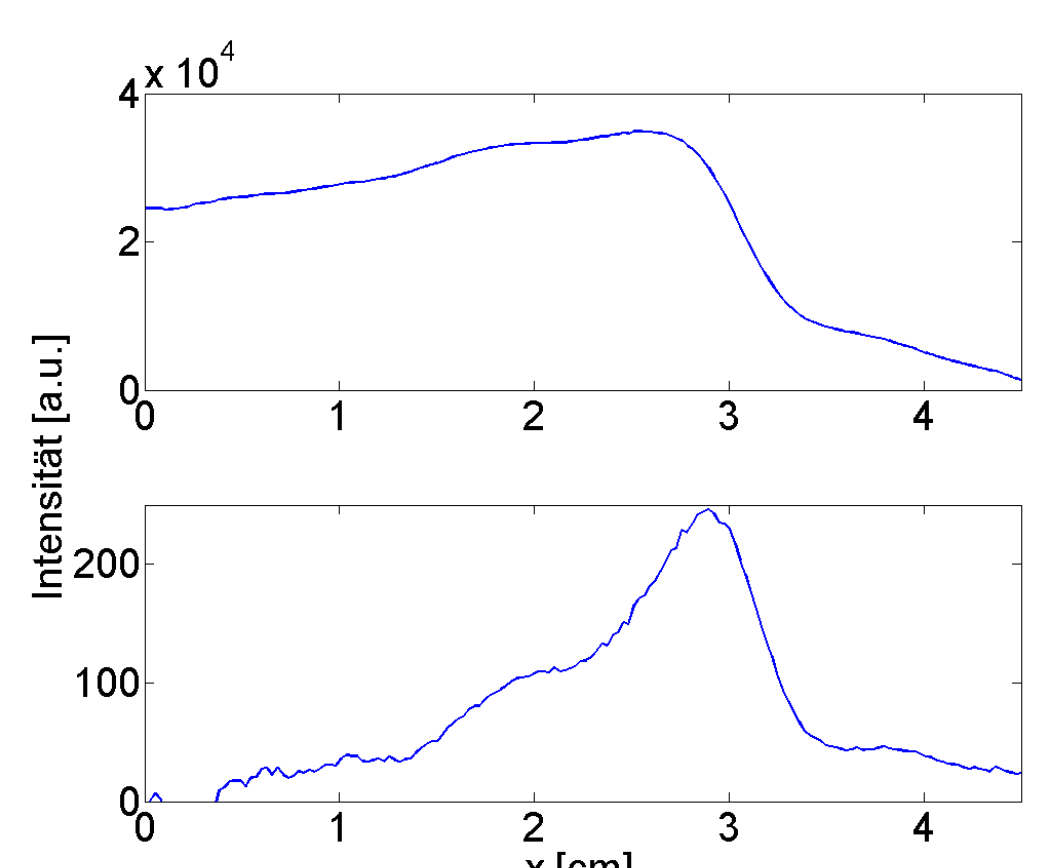
- Bei Annahme von Zylindersymmetrie können die gemessenen Intensitäten I entabelt werden, um die radial aufgelöste Intensität i zu erhalten.

- Hier angewendet: Matrixmethode

$$i = S^{-1} \cdot I, \quad S = \text{Dreiecksmatrix mit Elementen } a_{jk}$$

Beispiel für inverse Abel-Transformation: Fulcher-Band Linie Q=2

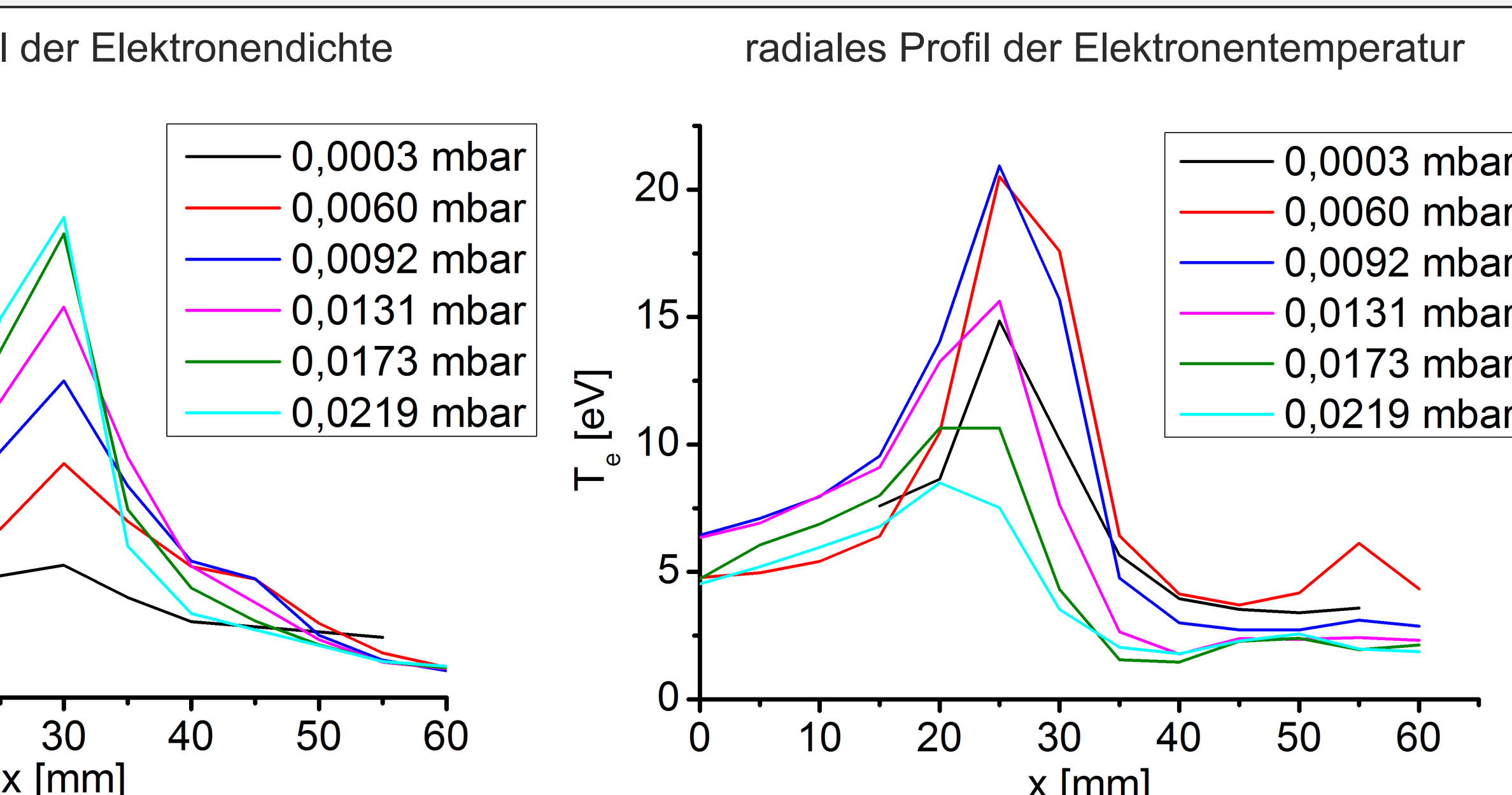
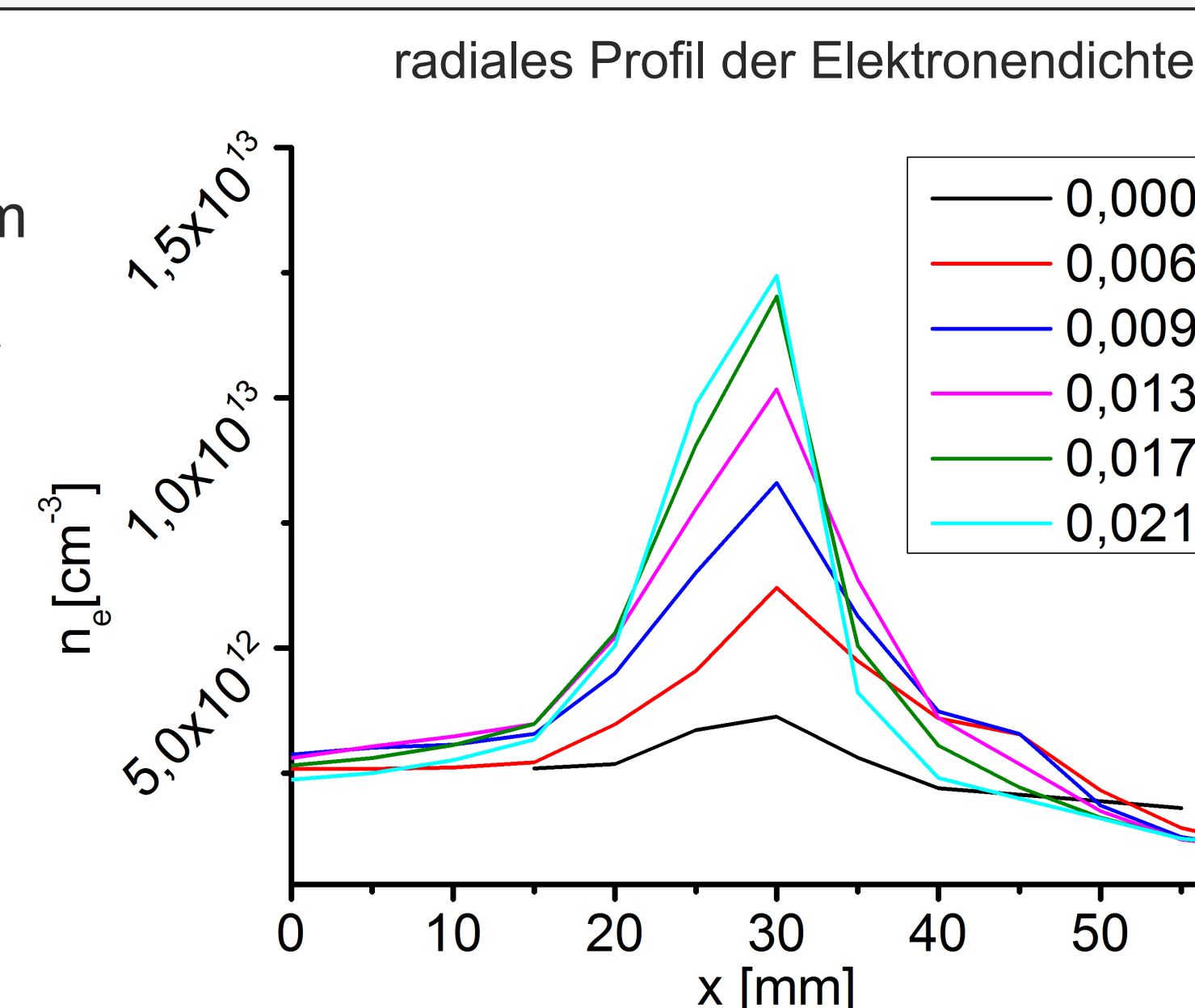
oben: linienintegriertes Signal
unten: entabeltes Signal



Sondenmessungen

- Maximum der Elektronendichte und Elektronentemperatur am Rand der Plasmasäule (Hohlprofil) aufgrund der Geometrie der Zylinderkathode

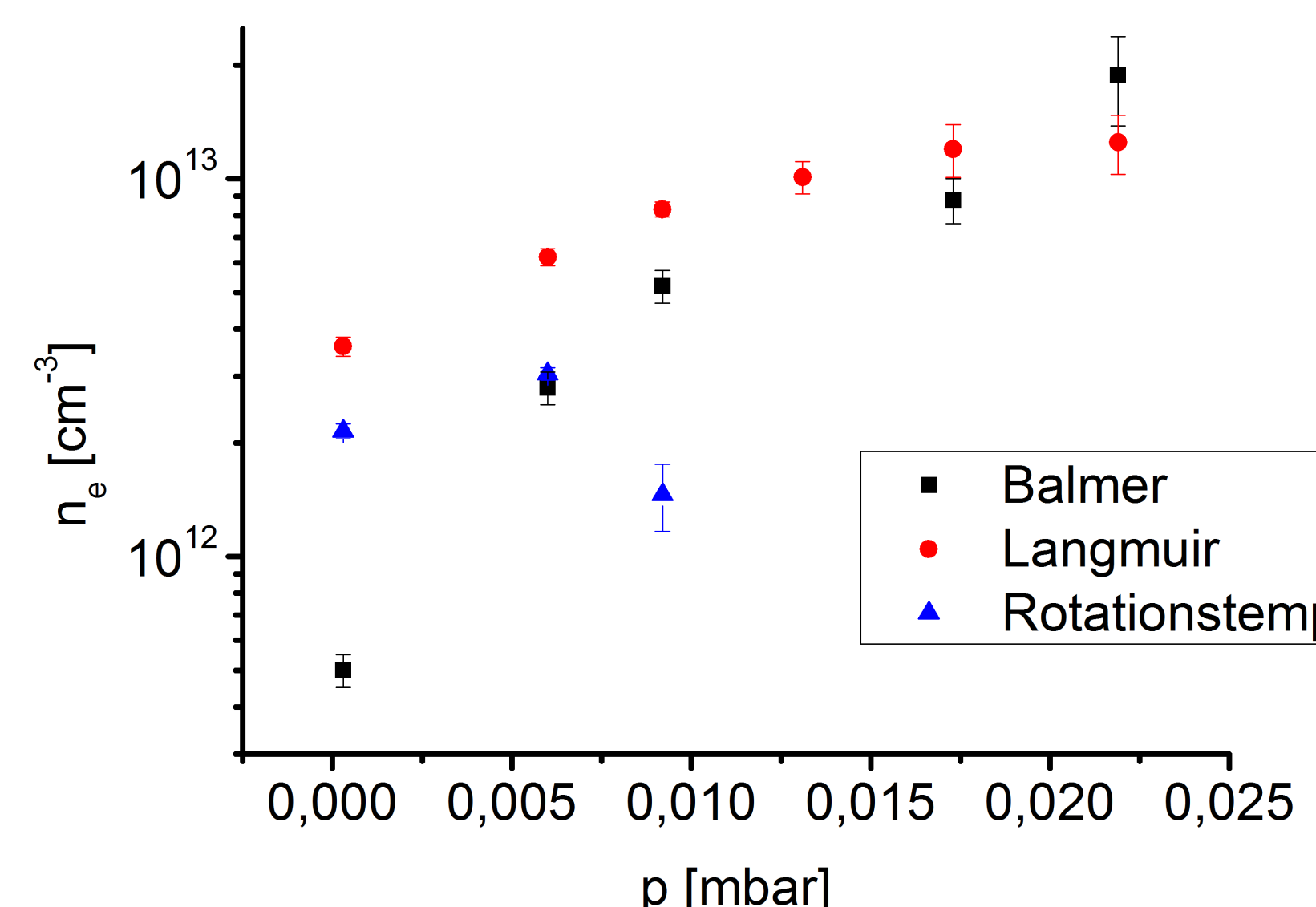
- Elektronendichte am Rand der Plasmasäule steigt mit zunehmendem Neutralgasdruck im Targetbereich an



Plasmazentrum: $x=0$ cm, Plasmarand: $x=3$ cm

Elektronendichte und Elektronentemperatur

Elektronendichte am Plasmarand



Bestimmung der Elektronendichte durch: - Verhältnis D_α zu D_γ
- Langmuirsonde
- Rotationstemperaturen
Q-Zweig Fulcher-Band

- Verlauf der Dichte aus dem Verhältnis D_α zu D_γ zeigt steigende Dichte bei steigendem Neutralgasdruck (wie Langmuirsonde)

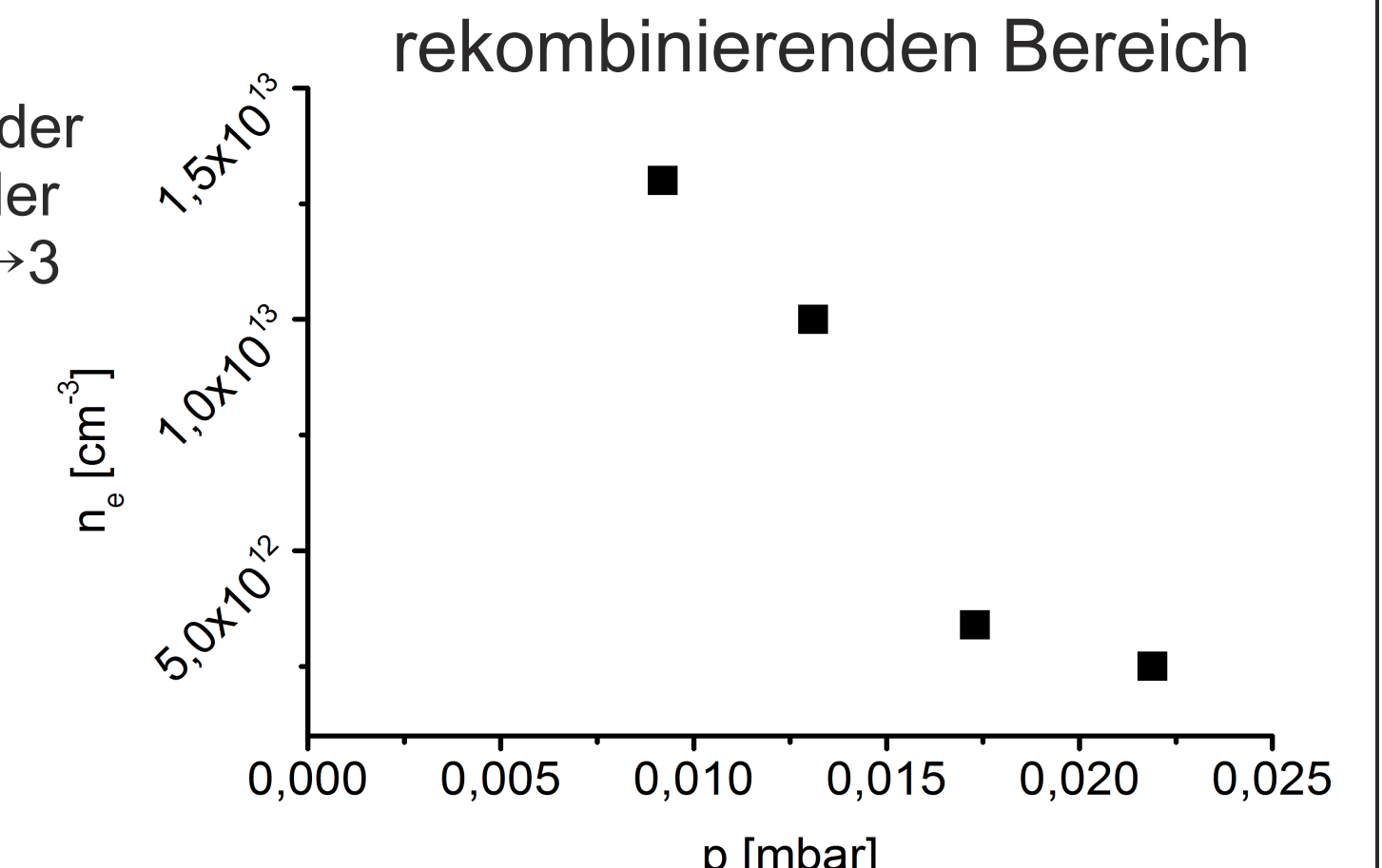
- Abweichung des Absolutwertes bei geringem Neutralgasdruck (keine Rekombinationszone) am größten

- Rotationstemperaturen nur bei kleinen Neutralgasdrücken auswertbar

Elektronendichte im rekombinierenden Bereich

- Bestimmung der Elektronendichte aus der Stark-Verbreiterung der Paschen-Linie $n=10 \rightarrow 3$

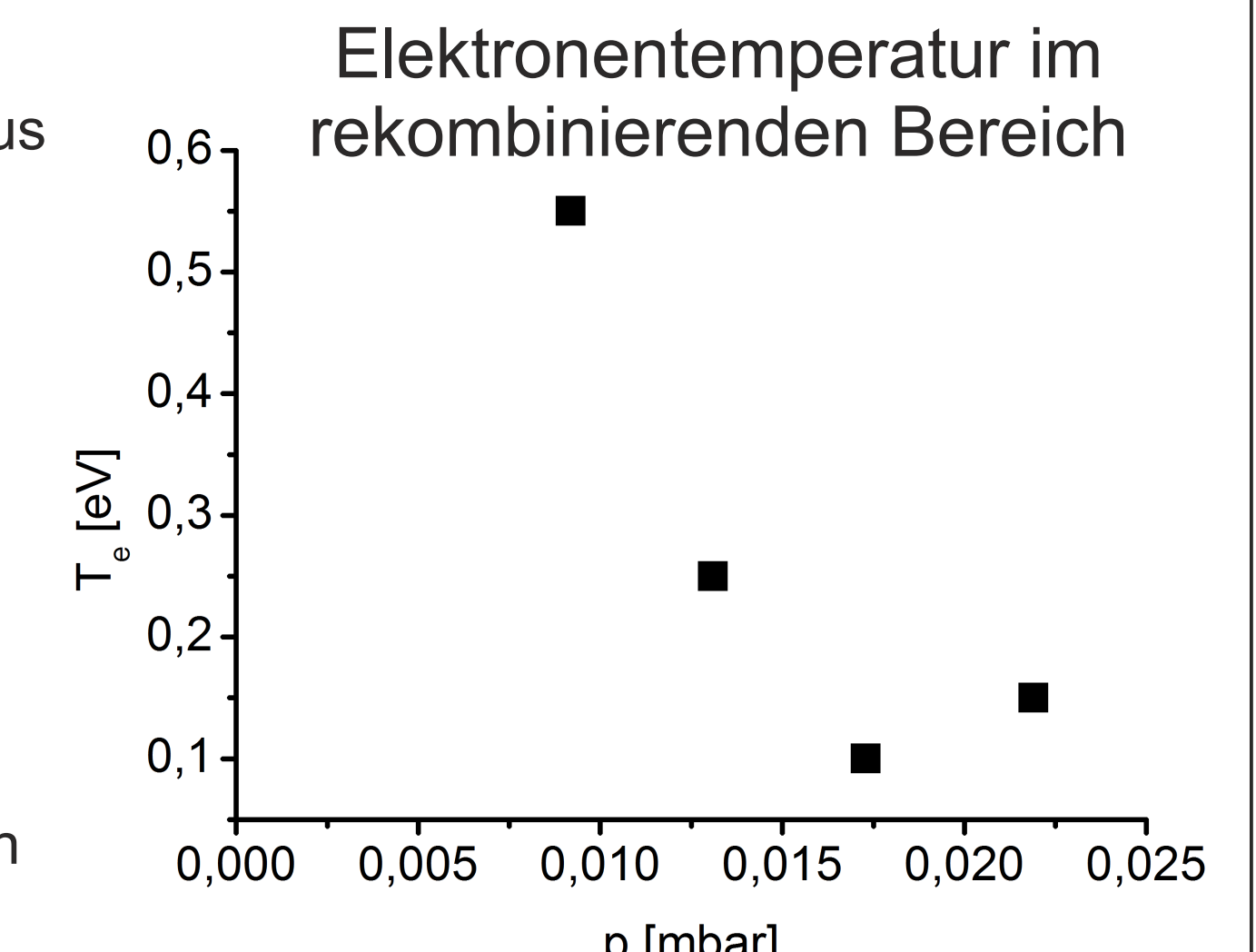
- Die Dichte im rekombinierenden Bereich fällt mit steigendem Neutralgasdruck



- Bestimmung der Elektronentemperatur aus den Verhältnissen der Paschen-Linien $n=9 \rightarrow 3$ und $n=7 \rightarrow 3$

- Die Temperatur im rekombinierenden Bereich fällt mit steigendem Neutralgasdruck

- Die Absolutwerte liegen eine Größenordnung unterhalb der mit der Langmuirsonde gemessenen Werte (größerer Abstand zur Plasmaquelle)



Zusammenfassung & Ausblick

Verwendete Messmethoden im Überblick

Elektronendichte		Elektronentemperatur	
rekombinierend	ionisierend	rekombinierend	ionisierend
Langmuirsonde	Langmuirsonde	Langmuirsonde	Langmuirsonde
Starkverbreiterung Paschenlinien	Rotationstemperaturen aus D2-Linien	Paschenlinienverhältnisse (große n)	
	Balmerlinienverhältnisse		

- Balmer- und Paschenlinienverhältnisse sowie Starkverbreiterung sind zur Diagnostik des PSI-2 Plasmas geeignet

- Vergleich mit den Sondenmessungen ist aufgrund der Variation des Plasmas entlang der z-Achse (Rekombinationsbereich) nur bedingt möglich → weitere Vergleichsmessungen entlang der z-Achse sind nötig

- In Zukunft werden weitere Messmethoden (z.B. He-Linien-Verhältnisse zur Bestimmung der Elektronentemperatur und -dichte) erprobt, um die spektroskopischen Methoden zu erweitern